



## **La simulation : une double-utilité en sciences de gestion.**

Lise Arena, Céline Bérard

### **► To cite this version:**

Lise Arena, Céline Bérard. La simulation : une double-utilité en sciences de gestion.. AIMS, Jun 2011, Nantes, France. pp.1-26. halshs-00673175

**HAL Id: halshs-00673175**

**<https://shs.hal.science/halshs-00673175>**

Submitted on 22 Feb 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **LA SIMULATION : UNE DOUBLE-UTILITÉ EN SCIENCES DE GESTION**

**Lise ARENA**

**Université Nice Sophia-Antipolis, GREDEG**

**Université d'Oxford**

[lise.arena@gredeg.cnrs.fr](mailto:lise.arena@gredeg.cnrs.fr)

**Céline BERARD**

**Université Lyon 2, Coactis**

[Celine.berard@univ-lyon2.fr](mailto:Celine.berard@univ-lyon2.fr)

**Résumé :** Si la simulation est une méthode de recherche de moins en moins obscure en sciences de gestion, son utilisation n'en demeure pas moins peu fréquente malgré son fort potentiel. Dans une perspective à la fois méthodologique et pragmatique, cet article met l'accent sur la pertinence de cette méthode originale lorsque le phénomène étudié se révèle être un système complexe qui arbore des comportements dynamiques non linéaires contre-intuitifs, et qui inclut des agents hétérogènes en perpétuelle interaction avec leur environnement. À travers deux modèles de simulation illustratifs fondés sur la tradition de la dynamique des systèmes, il propose de faire apparaître l'intérêt de la simulation, à la fois pour le chercheur en sciences de gestion et pour l'acteur de terrain. En outre, sont abordés deux axes de réflexion sur les possibilités d'un recours plus systématique à cet outil d'aide à la compréhension d'un problème organisationnel et d'aide à la décision. D'une part, l'effort à poursuivre quant à la recherche d'une certaine interdisciplinarité est souligné. D'autre part, la question de la combinaison des différentes utilisations possibles de la simulation est discutée.

**Mots-clés :** Simulation, Complexité, Dynamique des systèmes, Méthode de recherche, Décision.

## INTRODUCTION

L'objet des sciences de gestion peut être assimilé à une théorie des organisations et de leur complexité (Simon, 1991). Pour analyser et mieux comprendre cette réalité organisationnelle complexe, la réflexion du chercheur doit porter non seulement sur les décisions prises au sein des organisations en réponse à leur environnement changeant, mais également sur la manière dont ces décisions sont prises (Simon, 1978). Dans cette perspective disciplinaire, le chercheur peut adopter différents rôles, allant de l'observation à l'intervention. Dans une certaine mesure, ces propos rejoignent l'idée selon laquelle « *les sciences de gestion relèvent non seulement de l'observation mais aussi d'une contribution directe et revendiquée de l'action* » (David, 2002, p. 256).

Ainsi, d'un côté, le chercheur peut revêtir le rôle d'un observateur qui souhaite essentiellement contribuer à une meilleure compréhension des comportements organisationnels et managériaux. Ces comportements résultent toutefois d'interactions entre de multiples processus interdépendants (Harrison et al., 2007). De ce fait, « *le chercheur peut avoir l'impression décourageante que tout est lié à tout, et se sentir écrasé par la complexité du phénomène analysé* » (Cartier et Forgues, 2006, p. 126). Comme le suggèrent Harrison et al. (2007), l'étude de la complexité des comportements organisationnels et managériaux, et plus précisément le développement de la théorie<sup>1</sup> qui en découle, devrait reposer sur une méthodologie d'une part plus systématique, et d'autre part ayant la capacité d'analyser des processus interreliés qui surviennent simultanément. Selon ces auteurs, la simulation a ce potentiel. Elle se veut en effet, pour le chercheur, un puissant outil de développement de la théorie (Cartier et Forgues, 2006; Harrison et al., 2007; Davis et al., 2007), étant donné que la simulation permet de : (1) formaliser en un modèle les hypothèses ou propositions théoriques qui proviennent des observations ; (2) rendre explicite les relations non linéaires entre des phénomènes interdépendants ; (3) défier le manque éventuel de données empiriques (Davis et al., 2007).

D'un autre côté, le chercheur peut participer à la co-construction d'une réalité émergente avec les acteurs du terrain, pour élaborer des outils de gestion actionnables (Argyris et al., 1985). Tout en ancrant l'objet de recherche dans un problème existant, le chercheur oriente sa réflexion vers l'élaboration de nouveaux outils qui pourront être utilisés par les acteurs de l'organisation et qui pourront ultimement transformer leur réalité. Or, mais à un tout autre

---

<sup>1</sup> Nous empruntons la définition utilisée par Davis et al. (2007, p. 481) : « nous définissons la théorie comme un ensemble de construits interreliés entre eux par des propositions qui présentent une cohérence logique et des hypothèses en rapport avec cette théorie ».

niveau que précédemment, la simulation se veut également être un outil, un modèle, que développe le chercheur pour – et souvent avec – les acteurs et décideurs qui agissent au sein d’une organisation (Stermann, 2000). D’une manière générale, les modèles permettent non seulement de mieux comprendre la réalité, mais aussi d’agir sur celle-ci. À noter toutefois que, plutôt que de chercher une solution optimale à un problème, la modélisation vise surtout à favoriser l’apprentissage qui conduira éventuellement à une action (Checkland, 1981). En particulier, les modèles de simulation permettent d’initier et de guider les actions, étant donné que leur force réside dans le fait que les conséquences des actions potentielles peuvent être anticipées (Stermann, 2000). La simulation peut ainsi supporter la prise de décision stratégique dans les organisations (Lyons et *al.*, 2003). En ce sens, elle constitue un outil d’aide à la décision (Tekin et Sabuncuoglu, 2004), soit un outil actionnable par les acteurs.

Que ce soit pour observer ou transformer la réalité, la méthode de recherche empruntée à la simulation permet d’utiliser une forme artificielle d’expérimentation, qui serait difficile à mettre en œuvre à l’échelle de l’organisation réelle. Pourtant, malgré son fort potentiel, tant du point de vue du chercheur que de celui de l’acteur, la simulation demeure sous-exploitée en sciences de gestion (Cartier et Forgues, 2006; Berends et Romme, 1999). D’une part, la valeur de la simulation pour le développement de théories est sujette à controverse et demeure floue (Davis et *al.*, 2007). D’autre part, alors que les modèles de simulation permettent de cerner la complexité et sous-tendent des démarches dans lesquelles les acteurs prennent des décisions qui peuvent effectivement s’écarter de l’optimum (Cartier, 2005), le terme générique de « modèle » risque pourtant parfois d’être associé à une démarche systématiquement réductionniste, qui imposerait un ensemble d’hypothèses lourdes, voire irréalistes.

Cet article vise ainsi à enrichir les réflexions sur les méthodes de simulation en sciences de gestion. En s’appuyant sur des illustrations distinctes mais complémentaires, son objectif est de discuter de l’utilité et des perspectives futures de ces méthodes originales, tant d’un point de vue du chercheur que de l’acteur. En effet, ce double-intérêt de la simulation n’a que peu fait l’objet d’une vue intégrée dans les travaux antérieurs. Cet article propose, en premier lieu, de révéler le potentiel de la simulation pour étudier la complexité organisationnelle. Ensuite, est illustrée sa mise en pratique au sein de deux projets de recherche, lesquels appliquent une même technique de simulation mais à des fins différentes. Enfin, est envisagée une utilisation future plus systématique de cette méthode en sciences de gestion.

## **1. LA SIMULATION FACE À LA COMPLEXITÉ ORGANISATIONNELLE**

Cette première section propose une définition de la complexité organisationnelle, avant d'expliquer le principe de la modélisation des systèmes complexes. L'intérêt de la simulation en sciences de gestion est ensuite discuté à travers ses différentes utilisations possibles.

### **1.1. LA COMPLEXITÉ DU SYSTÈME « ORGANISATION »**

Le paradigme de la complexité est de plus en plus présent dans le domaine des sciences de la gestion, et ce constat se traduit par un nombre croissant d'articles et d'ouvrages publiés sur ce thème (McDaniel et Driebe, 2001; Maguire et *al.*, 2006). Ce paradigme, qui s'intéresse à l'étude des systèmes complexes (McDaniel et Driebe, 2001), permet d'appliquer à de nombreux phénomènes organisationnels un ensemble de concepts et de principes provenant de la pensée systémique (Maguire et *al.*, 2006). En effet, l'apparition de la notion de complexité dans l'étude des organisations est liée à l'émergence du paradigme systémique (Anderson, 1999), lequel assimile les organisations à des systèmes complexes (Kast et Rosenzweig, 1972) en perpétuelle interaction avec leur environnement (Katz et Kahn, 1978) et arborant des comportements dynamiques non linéaires pouvant être surprenants (Dooley et Van de Ven, 1999).

Un système se définit comme « *un complexe d'éléments en interaction* », et sous-tend le concept de totalité selon lequel le « *tout est plus que la somme des parties* » (von Bertalanffy, 1968, p. 53). Un système est dit complexe en raison de la multiplicité de ses éléments et de leurs interactions, mais aussi en raison de la diversité des comportements dynamiques qu'il subit (Stermann, 2000). Plus précisément, selon Simon (1976), la complexité d'un système peut se comprendre comme suit : (1) les systèmes ayant beaucoup de composants peuvent être considérés comme complexes en comparaison à ceux qui en ont peu ; (2) les systèmes dans lesquels il y a beaucoup d'interdépendances entre les composants sont généralement considérés comme étant plus complexes que ceux avec moins d'interdépendances entre les composants ; (3) les systèmes dont le comportement est considéré comme « indécidable » peuvent être considérés comme complexes comparés à ceux dont le comportement est tenu pour déterminable ; (4) les systèmes ayant beaucoup de composants identiques sont moins complexes que ceux de taille comparable dont les composants sont tous différents. D'une manière générale, la complexité se caractérise également par de fortes interactions entre les différents acteurs du système, une importante dépendance temporelle, une structure interne causale complexe soumise à des rétroactions, ainsi que par des comportements sujets à de très longs délais, difficilement prévisibles et souvent contre-intuitifs (Stermann, 2000).

Le paradigme de la complexité offre ainsi une vision nouvelle des organisations, qui réfute le réductionnisme, la prévision et la linéarité (Grobman, 2005). Il met en avant le caractère imprévisible et ambigu du monde, l'importance des relations non linéaires, ainsi que les rôles de l'auto-organisation, de l'émergence et de la coévolution dans les dynamiques organisationnelles. Quant aux praticiens, ils sont assimilés non plus à des entités externes, mais à des agents du système qui ne peuvent anticiper la portée de leurs décisions sur le long terme et qui se doivent de développer un environnement dans lequel les agents apprennent les uns des autres. En définitive, dans cette réalité organisationnelle assimilée à un système complexe, la compréhension en profondeur des phénomènes nécessite d'étudier le « système » dans sa globalité, et non ses parties d'une manière isolée. En outre, l'accent doit être mis sur ses comportements et sur les relations qui lui sont inhérentes, plutôt que sur ses objets et substances eux-mêmes (McDaniel et Driebe, 2001).

Bien que cette notion de complexité ait émergé dès les années 1960, ce n'est que dans les années 1980 que les théories qui lui sont relatives prennent de l'importance (Chiva-Gomez, 2004). Les plus fondamentales sont : (1) la théorie générale des systèmes et la cybernétique ; (2) la théorie de la catastrophe et la théorie du chaos ; (3) la théorie des systèmes complexes adaptatifs (Anderson, 1999). Un manque de consensus se fait toutefois ressentir quant à ce qu'est la complexité, et le développement d'une théorie unifiée des systèmes complexes reste problématique (Chu et *al.*, 2003). À ce propos, Cartier (2003) souligne la distinction entre la théorie des systèmes et les théories de la complexité : la théorie des systèmes se centre principalement sur l'atteinte d'un équilibre stable, qui peut s'expliquer par des forces d'inertie (Durieux et Vandangeon-Derumez, 1996), alors que les théories de la complexité portent davantage sur la recherche d'un équilibre explosif (Thiétart et Forgues, 1995). Ces considérations nécessitent donc une grande prudence quant à la terminologie utilisée ici. D'une part, cet article concerne l'étude des systèmes complexes sans pour autant s'inscrire dans la théorie de la complexité *per se* (Le Moigne, 2007; Morin, 1985). D'autre part, il considère un système comme étant complexe, dès lors que le résultat final de son évolution n'est pas prédictible en connaissant les règles de comportement de départ. C'est ainsi à partir de cette définition d'un système complexe, que se centre la réflexion proposée dans cet article quant à l'utilité de la simulation pour mieux comprendre la réalité organisationnelle et/ou pour agir sur elle.

## 1.2. LA MODÉLISATION ET LA SIMULATION DES SYSTÈMES COMPLEXES

La modélisation est souvent indissociable du paradigme de la complexité et de la pensée systémique. Elle se veut appartenir à une tradition méthodologique qui implique l'utilisation de modèles qualitatifs ou quantitatifs, pour analyser les systèmes complexes : un modèle est une représentation simplifiée de la réalité qui aide les individus à mieux comprendre les aspects clés d'une situation complexe (Lyons et *al.*, 2003).

En particulier, et au-delà d'une « simple » fonction de prédiction, la simulation est un outil de modélisation assimilable à une expérience virtuelle (Carley, 2001) qui présente plusieurs avantages : la simulation permet d'expliquer l'organisation, de donner naissance à une collecte de données pertinente, de faire apparaître les dynamiques principales d'un système complexe, de mettre en perspective des analogies entre des modèles de nature similaire, ou encore de faire émerger de nouveaux questionnements notamment grâce à l'émergence de nouvelles relations non observables *a priori* (Epstein, 2008). En effet, le recours à la simulation peut se comprendre par la définition qu'en donnent récemment Davis *et al.* (2007, p. 481) et qui tend à réconcilier les considérations de cet outil par différents spécialistes : il s'agit d'une « *méthode fondée sur un logiciel informatique qui permet de modéliser des opérations des processus, des systèmes et des événements du 'monde réel'* » et qui « *permet de créer une représentation computationnelle de la logique théorique sous-jacente qui lie les différents construits à l'intérieur de ces mondes simplifiés. Ces représentations sont ensuite codées au sein du logiciel qui est généré de manière répétitive sous des conditions expérimentales variables [...] afin d'obtenir une série de résultats* ».

C'est à partir de cette définition que les méthodes de simulation apparaissent comme une solution alternative à mi-chemin entre théorie et empirie. Comme le souligne Axelrod (1997, p. 4), la simulation est une troisième méthode : « *comme la déduction, [la simulation] part d'un jeu d'hypothèses sous-jacentes explicites, [et] (...) elle génère des données qui peuvent être analysées de manière inductive* ».

En reconstruisant d'une manière artificielle un système, un événement ou un ensemble de processus, l'avantage principal de ces modèles est qu'ils permettent de simuler l'évolution et la gestion d'un phénomène dans le temps. En ce sens, ils permettent d'appréhender la nature dynamique de certaines préoccupations organisationnelles, tout en associant généralement les agents à des entités hétérogènes en interaction et dotées d'une rationalité limitée procédurale. Le chercheur en sciences de gestion peut avoir recours à différentes familles de modèles de simulation ; le choix du modèle dépendant intimement du phénomène étudié. Par tradition, on distingue trois grandes familles de modèles (Dooley, 2002). Premièrement, les modèles *multi-*

*agents* (qui incluent notamment les automates cellulaires) analysent un système composé d'agents apprenants qui fondent leurs choix sur ceux des autres agents et de l'évolution de leur environnement. Deuxièmement, les modèles de *simulation d'événements discrets*, qui s'utilisent le plus souvent dans le cas d'un système pouvant se définir comme un ensemble de variables qui évoluent en fonction d'événements extérieurs au système. Troisièmement, les modèles appartenant à la famille de la *dynamique des systèmes*, qui sont utilisés lorsque l'objet d'étude est un système, dont les règles de comportement peuvent se définir par un ensemble de variables, qui s'influencent entre elles, et qui sont exprimées par un système d'équations différentielles.

Les avantages des modèles de simulation se heurtent toutefois à certaines limites. D'une part, la construction d'un modèle unique qui vise à expliquer un système complexe ne constitue pas la seule représentation d'un phénomène social. Des théories managériales et organisationnelles différentes et indépendantes peuvent souvent coexister et conduire à la construction de modèles différents (Lyons *et al.*, 2003). En d'autres termes, face à une complexité organisationnelle, un point de vue universel et inter-temporel n'existe sans doute pas, mais les chances de s'en approcher sont accrues grâce à une multiplication raisonnée des méthodes utilisées dans la démarche du chercheur. D'autre part, comme toute méthode de recherche, le recours à un modèle de simulation soulève la question de sa validité. Dans une large mesure, celle-ci réside davantage dans son utilité que dans son exactitude à reproduire parfaitement une réalité (Forrester, 1975; Sterman, 2000). Le souci de validation peut être ici associé aux concepts de validité externe et interne développés par Carley (1996), et d'adéquation analytique et ontologique développés par McKelvey (2002) : tandis que l'adéquation analytique (ou validité interne) concerne la coïncidence entre les résultats du modèle et les fondements conceptuels qui ont permis sa construction, l'adéquation ontologique (ou validité externe du modèle) traite du réalisme et de l'utilité du modèle. Enfin, dans la mesure où les modèles de simulation sont souvent paramétrés par des observations « réelles » ou par des règles de décision construites à partir d'observations qualitatives, les problèmes de collecte des données que l'on peut rencontrer dans des études organisationnelles plus traditionnelles apparaissent également comme une limite qui nécessite une précaution particulière de la part du chercheur en sciences de gestion.

### **1.3. LA SIMULATION EN PRATIQUE DANS LES SCIENCES DE GESTION**

La simulation est donc l'une des méthodes d'analyse à laquelle peut recourir le chercheur, pour mieux comprendre le système complexe que constitue l'organisation. Pourtant, une



étude menée par Berends et Romme en 1999, révèle que dans les disciplines des sciences de la gestion et des sciences sociales, l'utilisation de la simulation n'est guère fréquente. Selon ces auteurs, seule la recherche opérationnelle exploiterait plus largement cette méthode, étant donné que les problèmes investigués par les chercheurs de ce domaine se rapprochent, dans une moindre mesure, des problèmes d'optimisation étudiés dans les sciences techniques. Durant la dernière décennie, un intérêt grandissant pour la simulation semble toutefois se faire ressentir dans les sciences sociales et de gestion : des ouvrages et quelques numéros spéciaux dans de grandes revues académiques, lui ont enfin été consacrés (Cartier et Forgues, 2006).

La simulation peut en effet servir divers objectifs de recherche dans ces disciplines. Notamment, Harrison et *al.* (2007) en recensent sept : (1) la *prédiction*, qui cherche à révéler les relations de causalité entre les variables du modèle ; (2) l'existence de *preuves*, qui vise à montrer si certains types de comportements peuvent survenir ; (3) la *découverte* ou l'exploration des conséquences inattendues des interactions qui existent entre différents processus ; (4) l'*explication*, qui doit non seulement montrer s'il est possible de produire certains résultats, mais également éclairer les conditions dans lesquelles ces résultats sont produits ; (5) la *critique*, soit l'évaluation d'explications théoriques préétablies relativement à un phénomène ; (6) la *prescription*, dès lors que la simulation vise par exemple à suggérer un « meilleur » mode opérationnel ou organisationnel ; (7) un *guidage empirique*, en ce sens que de nouvelles stratégies empiriques peuvent s'ensuivre. Ces mêmes auteurs précisent que, bien qu'un projet de simulation soit généralement mis en œuvre pour atteindre un objectif particulier, la simulation peut au final être utilisée à des fins multiples. Par ailleurs, il apparaît que tandis que certains de ces objectifs se centrent principalement sur le chercheur, notamment dans une perspective de test ou de développement de la théorie (par exemple, la critique ou la prédiction), d'autres sont davantage axés vers l'acteur en vue d'initier ou de guider un changement (par exemple, la prescription). Dans cet article, les différentes utilisations de la simulation se résument à ces deux grandes catégories, à savoir l'outil du chercheur *versus* l'outil de l'acteur.

Du point de vue du chercheur en sciences de gestion, la simulation permet de mieux comprendre un phénomène organisationnel complexe qu'il serait difficile d'interpréter à partir de simples observations d'une réalité sociale. D'un côté, les modèles de simulation peuvent être utiles lorsque le chercheur souhaite tester une théorie existante. C'est la perspective, par exemple, adoptée par Jacobsen et House (2001) dans leur recherche qui porte sur l'adéquation empirique de la théorie relative au poids des processus de leadership charismatique. La simulation leur permet de tester la dynamique existante à travers les interactions du système

complexe composé par le *leader*, ses suiveurs et la structure sociale à laquelle ils appartiennent. D'un autre côté, le chercheur peut avoir recours à un modèle de simulation pour expliciter des relations non-linéaires entre des variables qui lui semblent être interdépendantes *a priori*. Ce choix a par exemple été fait par Repenning (2002), lorsque celui-ci s'attache à mieux comprendre la dynamique de diffusion des innovations. Plus précisément, sa contribution réside dans l'étude du phénomène de rétroaction existant entre la diffusion, l'implication individuelle et la pression managériale. En somme, que ce soit pour tester une théorie existante ou pour mieux comprendre une dynamique sociale complexe, la simulation est un outil utile pour le chercheur en sciences de gestion, qui peut l'articuler à d'autres méthodes de recherche, plus traditionnelles. Par exemple, l'observation qualitative d'un cas « réel » peut ainsi tout à fait s'appréhender comme une première étape du processus de recherche qui conduit, ensuite, à la simulation de cas artificiels supplémentaires qui viennent enrichir la compréhension du phénomène social étudié en envisageant toute une série de situations de gestion.

Du point de vue de l'acteur, la simulation vise essentiellement à supporter la prise de décision au sein des organisations. Par exemple, elle a été appliquée à des problématiques décisionnelles liées à la gestion de la chaîne logistique (Nilsson et Darley, 2006), au développement des réseaux inter-organisationnels (Akkermans, 2001), ou encore, à la gestion de multi-projets de recherche et développement (Repenning, 2000). La simulation en tant qu'outil, ou système, d'aide à la décision suscite un intérêt vif (Tekin et Sabuncuoglu, 2004), étant donnée la difficulté qu'ont les individus à gérer des systèmes de plus en plus complexes (Friedman, 2004). Face à la complexité, la prise de décision représente, en effet, de véritables défis : elle est affectée tant par les structures complexes des systèmes, que par les limites cognitives des décideurs (Rouwette et *al.*, 2004). Größler (2004, p. 319) précise notamment que « *les résultats des décisions ne peuvent être calculés avec certitude, étant donné que les états futurs du système sont difficilement prévisibles et que la complexité du système est trop élevée pour permettre le traitement de toutes les données* ». Ainsi, force est de constater que les actions menées dans ces systèmes créent souvent des effets qui diffèrent des résultats attendus et désirés, même lorsque les décideurs tentent d'agir au mieux en fonction des objectifs à atteindre (Friedman, 2004; Sterman, 2000; Forrester, 1975). C'est dans ce contexte que la simulation se révèle être un outil puissant d'aide à la décision pour l'acteur. D'une part, elle favorise l'apprentissage et la compréhension intégrée du système modélisé et de ses comportements dynamiques, ce qui se révèle indispensable pour améliorer la prise de décision au sein d'un système complexe. D'autre part, elle permet d'anticiper les réactions du système

en fonction de différents scénarios décisionnels testés, et donc de simuler les répercussions des actions potentielles dans le temps, et ce, sans aucune perturbation sur les comportements actuels du système (Sterman, 2000).

## **2. DEUX APPLICATIONS ILLUSTRATIVES DE LA SIMULATION**

Afin d'illustrer la double-utilité de la simulation en sciences de gestion, cette section présente deux projets de recherche qui ont appliqué la simulation à des fins différentes. Le premier s'appuie sur un modèle créé et utilisé à des fins de méthodologie de recherche, dans le cadre de la généralisation dans l'organisation d'une nouvelle technologie de l'information. L'objectif du deuxième est de proposer un outil de gestion actionnable par les décideurs politiques qui agissent dans le système complexe de la propriété intellectuelle des innovations biotechnologiques. Ces projets ayant eu recours à la technique de la dynamique des systèmes, celle-ci est d'abord brièvement introduite.

### **2.1. LA SIMULATION PAR LA DYNAMIQUE DES SYSTÈMES**

En 1958, Forrester développe une discipline qui s'inscrit dans le courant de la modélisation systémique et qui s'inspire principalement des systèmes de type cybernétique : la dynamique industrielle (Le Moigne, 1974). Il en dégage une technique de modélisation et de simulation : la dynamique des systèmes. Cette technique trouve ses fondements dans la théorie des dynamiques non linéaires et met ainsi l'accent sur le caractère dynamique des systèmes complexes (Forrester, 1975). Un système complexe est dit dynamique en raison de sa structure interne causale et fondamentalement, en raison de la présence de boucles de rétroaction qui se répercutent sur l'ensemble du système (Meadows et Robinson, 1985). Les rétroactions d'un système n'agissant pas isolément, différentes combinaisons de boucles conduisent à différentes dynamiques comportementales. Ces rétroactions peuvent être de deux natures : (1) les boucles « positives » ou de renforcement, qui amplifient et renforcent un phénomène dans le système ; (2) les boucles « négatives » ou d'équilibrage, qui résistent et s'opposent au changement en maintenant l'équilibre du système (Sterman, 2000). Sur le plan technique, cette méthode de simulation sur ordinateur traduit un système en termes de stocks (niveaux de ressources qui caractérisent le système) et de flux (taux qui modifient les stocks), en utilisant la méthode d'intégration par chaînon avant d'Euler pour calculer des équations différentielles de premier ordre.

La dynamique des systèmes aide à comprendre les comportements dynamiques difficilement prévisibles, des systèmes constitués d'une grande variété de composants (possédant des

fonctions spécialisées, étant structurellement organisés et étant reliés par de multiples relations non linéaires). Elle a ainsi été appliquée à des problématiques managériales complexes telles que, par exemple, les stratégies d'alliances internationales (Kumar et Nti, 2004), la gestion des crises dans les organisations (Rudolph et Repenning, 2002), ou encore, le processus de gestion des innovations (Milling, 2002). Son potentiel est plus précisément illustré au travers des deux projets de recherche exposés ci-après.

## 2.2. UNE SIMULATION POUR LE CHERCHEUR

L'application illustrative qui suit propose de mieux comprendre et de tenter de dépasser un problème organisationnel à partir d'un modèle de simulation, formalisé puis paramétré par un modélisateur-chercheur à l'aide de données recueillies auprès des acteurs du système étudié. La construction du modèle de simulation se fonde sur des « aller-retour » entre modèle et terrain afin que, dans une certaine mesure « *démarche qualitative et compréhensive, description et explication, s'entre-étagent de façon dynamique pour produire la théorie* » (Koenig, 2006, p. 19). En ce sens, l'usage de l'observation pour la formulation de règles du modèle consiste à recourir à des faits stylisés<sup>2</sup> qui permettent de construire un modèle pour ensuite le confronter à la réalité observée, et dans le cas de son bon comportement, le paramétrer pour simuler des cas artificiels supplémentaires. Le modèle s'inscrit dans la famille de la dynamique des systèmes mais se fonde, plus particulièrement, sur un modèle d'équations différentielles (MED) qui présente la caractéristique de ne pas considérer véritablement d'hétérogénéité entre les agents, comme ceci est le cas dans des modèles multi-agents (Liarde, 2008). Pour autant, ces modèles non linéaires permettent de faire apparaître une dynamique désagrégée qui tient compte des compétences hétérogènes de catégories d'acteurs. En ce sens, ils ont la capacité de mieux appréhender des effets de rétroaction, en agrégeant les agents du système au niveau d'un petit groupe d'états. La littérature qualifie ces petits groupes de « compartiments » (Rahmandad et Sterman, 2008). Dans le contexte de l'illustration qui suit (cf. encadré 1), ces compartiments sont exprimés par les différents états de l'utilisation d'une nouvelle technologie de l'information (TI), incluant les super-utilisateurs, les utilisateurs et les non-utilisateurs.

Encadré 1. Le projet de généralisation d'une nouvelle technologie de l'information

### **Présentation de la problématique organisationnelle :**

L'objectif du modèle qui suit est d'identifier les boucles de rétroaction qui peuvent expliquer la dynamique de généralisation d'une TI à l'ensemble de sa communauté d'utilisateurs au sein d'une

<sup>2</sup> Les « faits stylisés » n'ont aucune portée universelle mais constituent des hypothèses dont le domaine de validité est empiriquement limité et dont le choix dépend d'une durée et d'une régularité jugées suffisantes (Kaldor, 1978).

organisation. Pour autant, l'idée n'est pas tant de faire apparaître une boucle de rétroaction positive, ou de confirmer l'importance des super-utilisateurs, mais davantage d'établir les conditions dans lesquelles les coûts associés au détachement d'une communauté de super-utilisateurs (plus compétents que les autres) prévus par l'équipe projet valent la peine, ainsi que d'identifier la nature du lien entre apprentissage par la formation et apprentissage par la pratique. Le problème organisationnel est observé initialement sur le terrain à partir de l'étude d'un projet de TI. Le succès d'un projet d'implantation d'une nouvelle TI est défini comme son utilisation systématique dans une perspective de normalisation des opérations et de routines. La vitesse de propagation du changement qui conditionne le succès d'un tel projet dépend des interactions sociales et de la communication, davantage que de considérations techniques. Dans le cas de succès, la communauté d'utilisateurs témoigne d'interactions entre « super-utilisateurs » (qui ont souvent pour rôle de former le reste de la communauté) et les « utilisateurs les moins compétents ».

### **Étapes méthodologiques du processus de modélisation :**

#### *- Étape 1 : Formulation du problème*

La problématique qui nous intéresse ici a donc trait à la vitesse d'adhésion au changement des membres de la communauté d'utilisateurs (Vas, 2005). Les super-utilisateurs choisis par l'équipe projet devront être suffisamment convaincants pour persuader les non-utilisateurs (utilisateurs potentiels) des bienfaits de la nouvelle TI. Si cette propagation n'a pas lieu, le changement technologique en sera d'autant plus contraint (Shapiro, 2004). Ce qui nous intéresse tout particulièrement ici est le basculement où le phénomène singulier devient commun ; en d'autres termes, il s'agit du point où la totalité des acteurs impliqués acceptent d'utiliser systématiquement la nouvelle TI. Cette conception des projets de TI reflète une approche dynamique et systémique du changement, qui a le potentiel de fournir des leviers opérationnels permettant aux acteurs de propager l'utilisation d'une TI à l'intégralité de sa communauté d'utilisateurs (Rahmandad et Sterman, 2008).

#### *- Étape 2 : Formulation de faits stylisés et d'hypothèses dynamiques*

Fait stylisés : 1) Pendant l'implantation, on procède à la formation initiale de 10 super-utilisateurs qui accompagnent à leur tour (par la pratique) la formation des utilisateurs au nombre de 330 ; 2) L'implantation s'est déroulée comme prévue sur une période de 4 mois, mais la phase de généralisation a exprimé un « délai d'apprentissage » de 7 mois supplémentaires. Ce délai semble constituer la nécessité de processus d'apprentissages par la pratique complétant ceux par la formation ; 3) L'introduction de formations supplémentaires adaptées aux besoins exprimés par les utilisateurs, ainsi que l'accompagnement par la pratique des utilisateurs par les super-utilisateurs, permet d'accroître la vitesse de diffusion de la TI au sein de sa communauté ; 4) Les super-utilisateurs facilitent l'apprentissage (par la pratique) des moins compétents ; 5) L'enthousiasme des super-utilisateurs motive le reste des utilisateurs.

Hypothèses dynamiques : Trois variables sont essentielles à l'analyse de la généralisation d'une TI à l'ensemble de sa communauté d'utilisateurs : 1) Le nombre d'utilisateurs de la TI, noté  $N(t)$  ; 2) Le bénéfice que l'utilisateur obtient en utilisant la TI, noté  $B(t)$  ; 3) Le lien entre  $N(t)$  et  $B(t)$ , qui est fourni par l'apprentissage par la pratique de la TI, et ainsi par l'opinion de la TI que se font les premiers utilisateurs et qu'ils transmettent ensuite aux non-utilisateurs.

Le nombre d'utilisateurs  $N(t)$  peut augmenter au fur et à mesure que les super-utilisateurs complètent les formations par de l'apprentissage par la pratique. Le bénéfice associé à l'utilisation de la TI est défini par une courbe sigmoïde (Schneiderman, 1988), qui peut augmenter avec le temps jusqu'à prendre la valeur  $B_{max}$ . Le temps requis pour atteindre cette valeur maximale est relié à une constante de désintégration (à la baisse)  $\phi$ . Par conséquent, l'évolution du bénéfice dans le temps :

$$\frac{dB(t)}{dt} = \phi B(t) (B_{max} - B(t)) \quad (1.1)$$

avec  $t$  le temps depuis l'adoption de la TI par l'équipe projet et les deux variables  $\phi$  et  $B_{max}$  des constantes dépendantes de la TI, et que nous pourrions estimer à partir de nos observations qualitatives.

Le taux de variation dans le temps de  $N(t)$  est proportionnel au produit entre le nombre d'utilisateurs et le nombre de non-utilisateurs. En d'autres termes, il existe  $N(t)$  personnes disponibles pour persuader

les non-utilisateurs d'utiliser la TI. L'ensemble des non-utilisateurs est simplement noté  $N_{tot} - N(t)$ , avec  $N_{tot}$ , le nombre total d'acteurs capables, potentiellement, d'utiliser la TI. Aussi :

$\frac{dN(t)}{dt} = \omega f[B(t)]N(t)\{N_{tot} - N(t)\}$  (1.2) avec les utilisateurs et les non-utilisateurs qui interagissent à une fréquence d'interactions  $\omega$  (approximativement 1 fois/semaine selon nos observations). La fonction  $f[]$  permet donc de lier le nombre d'utilisateurs,  $N(t)$ , au bénéfice associée à l'utilisation,  $B(t)$ . Cette fonction incarne donc l'effet de *feedback*, entre les utilisateurs et les non-utilisateurs, qui est traditionnellement posée comme une constante. Si les utilisateurs tirent une valeur critique de bénéfice que nous noterons,  $B_{min}$ , de l'utilisation, ils vont en effet recommander son utilisation aux acteurs qui ne l'utilisent pas encore et inversement. Ainsi, on peut définir une fonction  $f[]$  qui mesure l'influence des bénéfices tirés par les utilisateurs sur leur propension à convaincre (par la pratique) les utilisateurs de recourir, à leur tour, à la TI.

$$\begin{aligned} f[B] &> 0 & \text{si } B &\geq B_{min} > 0 \\ f[B] &< 0 & \text{si } B &< B_{min} \end{aligned} \quad (1.3)$$

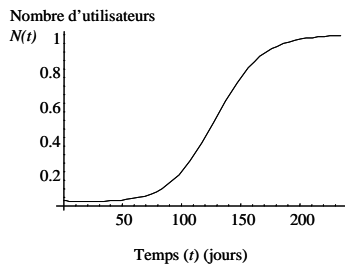
Tant que la fonction  $f[]$  utilise la propriété (1.3), le choix de sa forme importe peu, et ne change en rien les résultats (Repenning, 2002). Nous avons choisi d'utiliser une fonction sigmoïde.

#### - Étape 3 : Construction du modèle

En moyenne par utilisateur, l'équipe managériale estime à une période de 4 mois l'apprentissage nécessaire pour l'utilisation de la TI. Dans notre modèle, cette variable est représentée par la constante  $\phi$  qui estime l'apprentissage basique de la TI par ses utilisateurs, dans l'équation suivante :

$$\frac{dB(t)}{dt} = \phi B(t)(B_{max} - B(t))N(t)$$

En paramétrant la constante  $\phi$ , après avoir tenu compte que le temps d'apprentissage était en moyenne de 4 mois (soit 85 jours, en excluant les *week-ends*), on obtient une valeur du bénéfice très faible initialement, qui augmente ensuite fortement entre le 85<sup>ème</sup> et le 180<sup>ème</sup> jour. Cette augmentation peut s'expliquer par la fonction de *feedbacks*, notée  $F[B(t)]$  et exprimée dans l'équation (1.2.). Le paramétrage du modèle consiste à estimer le taux de fréquence  $\omega$  sur le terrain. En moyenne pendant les 11 mois de mise en place, nous estimons que les utilisateurs interagissaient une fois par semaine avec les non-utilisateurs. Par conséquent, en ne comptant que les jours ouvrés,  $\omega = 1/5$ . Grâce aux observations qualitatives, nous avons eu la possibilité de paramétrer le modèle avec  $\omega = 1/5$ , et  $N_{tot} = 340$ . Ainsi, on peut décrire l'équation (1.2.) graphiquement :

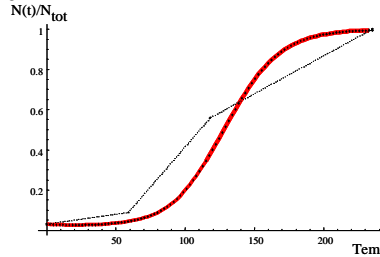


Le nombre d'utilisateurs  $N(t)$  reste approximativement constant pendant la période des 80 premiers jours, pour ensuite augmenter fortement jusqu'au 11<sup>ème</sup> mois de mise en place. A la fin du 11<sup>ème</sup> mois, la TI est utilisée par l'ensemble des utilisateurs. En réalité, sur la période initiale, les premiers utilisateurs ne recommandent pas la technologie au reste des membres de l'équipe, notamment puisque ceux-ci n'en tirent pas encore de bénéfice suffisant.

Une fois que ces 1<sup>ers</sup> utilisateurs ont eu le temps d'apprendre par la formation à utiliser correctement la TI, ces derniers tirent davantage de bénéfice de son utilisation et commencent à la recommander autour d'eux. Le nombre de nouveaux utilisateurs augmente, ce qui entraîne ces-derniers à la recommander à leur tour. Cet effet *feedback* continue à produire une croissance d'utilisation, par effet de contagion, et après 11 mois, la TI devient la nouvelle norme technologique de l'entreprise. Cet argument valide le modèle présenté par Repenning (2002), en le complétant sur les bases de paramètres réels.

#### - Étape 4 : Confrontation du modèle à la réalité

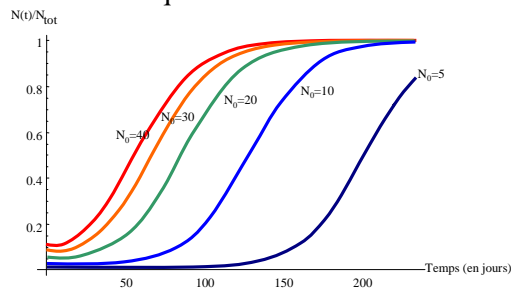
Les réponses de personnes interrogées nous indiquent que l'intégralité de la communauté utilisait la nouvelle TI à l'issue de 11 mois. Au départ, ( $t = 0$ ), les seuls utilisateurs sont les « super-utilisateurs » au nombre de 10. Ces 10 super-utilisateurs assistent (par la pratique) de manière intensive 30 utilisateurs, qui parviennent à utiliser de manière routinière la TI au bout de 2 mois et demi ( $t = 59$  jours ouvrés).



Enfin, au bout de 5.5 mois, 190 utilisateurs (en moyenne) maîtrisent de manière routinière son utilisation. Les 150 utilisateurs restants mettent donc environ 5 mois de plus pour faire entrer la TI dans leurs routines de travail. Aussi, si on paramètre le modèle avec le nombre observé de super-utilisateurs (*i.e.*  $N_0 = 10$ ), on obtient une adéquation quasi-parfaite du modèle et de la réalité.

#### - Étape 5 : Paramétrage du modèle et simulation de scénarios artificiels

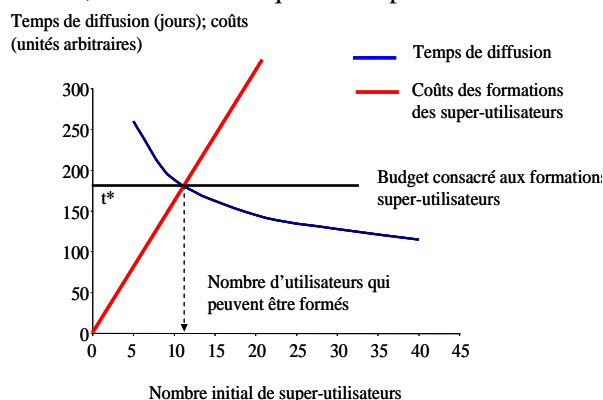
Simulons désormais, de manière artificielle, ce qu'il se serait passé, dans des conditions identiques, si l'équipe projet du cas observé avait initialement désiré détacher davantage de super-utilisateurs de leurs tâches quotidiennes.



Si l'équipe managériale avait décidé de former, au départ, seulement 5 utilisateurs, il aurait fallu plus d'un mois de plus pour que la communauté des 340 l'utilisent. En revanche, il est intéressant de noter, que si l'équipe projet avait déterminé 20 ou 30 super-utilisateurs initiaux, cela n'aurait pas accéléré en proportion la durée nécessaire avant son utilisation par la communauté toute entière.

En effet, si l'entreprise avait formé 20 utilisateurs initiaux, une durée de 7 mois (150 jours ouvrés) aurait été suffisante pour que l'ensemble de la communauté utilise la TI, alors qu'en comparaison, la formation de 30 super-utilisateurs initiaux aurait nécessité une durée de 6 mois (130 jours ouvrés), ce qui n'aurait fait gagner à l'entreprise moins que la moitié du temps de propagation effectif. Aussi, une forte volonté d'investissement dans les plans de formation peut ne pas avoir les conséquences attendues sur la rapidité d'utilisation de la TI.

On peut établir un lien entre les coûts dépensés en formation de super-utilisateurs et la vitesse de propagation du changement, ce qui permettrait à une entreprise d'estimer les coûts nécessaires en formation de super-utilisateurs pour une période de propagation du changement voulu. En supposant que les coûts de formation des super-utilisateurs soient proportionnels au nombre de super-utilisateurs formés, le modèle indique le temps nécessaire de diffusion  $t^*$  pour un budget donné et *vice versa*.



Aussi, en prenant l'exemple d'un budget (unités arbitraires) investi dans la formation de super-utilisateurs (ligne noire sur le graphique *infra.*), l'équipe projet peut former 12 super-utilisateurs, en ayant pour objectif une diffusion de 180 jours (8.5 mois, approximativement). Comme il existe une relation non-linéaire entre le nombre de super-utilisateurs formés et la diffusion du changement, il n'est pas nécessaire de dépenser considérablement plus pour parvenir à une généralisation de la TI plus rapide.

En définitive, le recours par le chercheur en gestion à un modèle d'équations différentielles de la famille de la dynamique des systèmes permet de mieux comprendre les interactions entre

différentes catégories d'acteurs d'un système complexe. Dans cette illustration, les résultats du modèle font apparaître une relation non-linéaire entre le nombre de super-utilisateurs détachés de leurs tâches quotidiennes, et la vitesse d'utilisation de la technologie par l'ensemble de ses utilisateurs. La fréquence des interactions favorisant l'émergence d'apprentissages par la pratique a également un impact significatif sur cette propagation. Le modèle présente la caractéristique de contenir une série de relations simples à causalité circulaire, en insistant sur le caractère complexe du phénomène notamment lié à l'existence de boucles de rétroaction, qui peuvent être positives ou négatives (selon la nature de la réponse à une perturbation initiale, tels que la modification du nombre de super-utilisateurs). Le recours à la simulation permet donc au chercheur d'apprécier l'importance de la sensibilité aux conditions initiales, en mettant l'accent sur les instabilités du système qui entraînent la non-proportionnalité de leurs effets.

### **2.3. UNE SIMULATION POUR L'ACTEUR**

L'application illustrative qui suit présente un projet de modélisation par la dynamique des systèmes, visant à développer un système d'aide à la décision pour supporter les processus de développement de politiques en matière de propriété intellectuelle. D'une manière générale, cette technique fournit un ensemble d'outils de modélisation, permettant d'une part de représenter la structure des rétroactions inhérentes à un système et d'autre part, de simuler les répercussions des décisions potentielles dans le temps. Premièrement, le *diagramme d'influence*, de nature qualitative ou conceptuelle, permet de représenter les hypothèses dynamiques et la structure des rétroactions d'un système. Une telle conceptualisation met en évidence l'ensemble des variables impliquées dans le système, les relations polarisées entre ces variables, ainsi que les boucles de rétroaction jugées importantes. Deuxièmement, le *diagramme de niveaux-taux* constitue un modèle de simulation, qui s'apparente à une technique quantitative permettant de tester différents scénarios, en l'occurrence, de nouvelles stratégies décisionnelles potentielles (Stermann, 2000). Ce modèle permet ainsi d'anticiper les répercussions de différentes décisions fictives, et ce, sans aucune perturbation sur les comportements actuels du système : il permet de supporter les processus décisionnels et agit tel un système informatisé d'aide à la décision.

Plusieurs cadres méthodologiques décrivant le processus intégral et itératif de modélisation par la dynamique des systèmes ont été développés. Le nombre d'étapes à réaliser lors du processus varie d'un cadre à l'autre, mais les démarches restent similaires (Luna-Reyes et Andersen, 2003) et peuvent se diviser en deux grandes phases : (1) la conceptualisation du



système en un modèle qualitatif, soit le diagramme d'influence ; (2) la formulation et l'utilisation d'un modèle quantitatif de simulation sur ordinateur. Par ailleurs, les projets de recherche utilisant la modélisation par la dynamique des systèmes peuvent s'inscrire dans deux types de projets : les projets de modélisation versus les projets de modélisation en groupe. Dans le premier cas, un ou plusieurs modélisateurs élabore(nt) seul(s) les modèles, tout en acquérant l'expertise et les données nécessaires auprès de diverses sources informationnelles, notamment auprès des experts et/ou acteurs du système investigué. Dans le deuxième cas, les experts et acteurs ne sont plus uniquement une source informationnelle, mais participent directement à l'élaboration des modèles lors de rencontres structurées avec l'aide d'un modérateur, qui doit surtout favoriser l'élicitation des connaissances au sein du groupe (Rouwette et *al.*, 2000). De nombreux travaux ont souligné l'importance d'impliquer les « clients » pour lesquels le modèle est développé, dans le processus de modélisation, en vue d'accroître l'utilité du modèle. Ainsi, les projets de modélisation en groupe sont de plus en plus appliqués au sein des organisations pour guider leurs décisions stratégiques (Akkermans et Vennix, 1997), étant donné qu'ils permettent de soutenir les processus de décision collective tout en apportant des avantages à deux niveaux : au niveau individuel, il s'agit principalement d'améliorer les modèles mentaux et de favoriser un changement d'attitudes ou comportemental au regard des stratégies décisionnelles proposées ; au niveau collectif, l'approche permet l'alignement des modèles mentaux, l'atteinte d'un consensus vis-à-vis des décisions et l'implication du groupe au regard de la décision (Andersen et *al.*, 1997). L'encadré 2 illustre le projet de modélisation en groupe par la dynamique des systèmes, mené par le Groupe international d'experts en biotechnologie, innovation et propriété intellectuelle<sup>3</sup>.

#### Encadré 2. Le projet de simulation du TIP

##### **Présentation du projet de recherche mené par le Groupe International d'Experts en biotechnologie, innovation et propriété intellectuelle (TIP) :**

Le TIP est une organisation indépendante à but non lucratif, constituée d'une vingtaine de membres qui cherchent à favoriser l'innovation et la créativité par une meilleure utilisation des mécanismes de propriété intellectuelle. Principalement composé de chercheurs du monde académique, le TIP inclut aussi des professionnels. L'un de ses projets de recherche a concerné un projet de modélisation des règles applicables à la propriété intellectuelle en matière de biotechnologies agricoles et médicales. Dans ce projet, un modèle de simulation a été développé selon les principes de la modélisation en groupe par la dynamique des systèmes, en vue de fournir un système d'aide à la décision aux décideurs politiques (au sein d'organisations gouvernementales et intergouvernementales) qui agissent dans le système de la propriété intellectuelle des innovations biotechnologiques. Les membres du TIP ont ainsi été directement impliqués dans ce projet ; ces experts représentant les principales disciplines impliquées dans le système de la propriété intellectuelle des innovations biotechnologiques (économie, droit, gestion et éthique).

<sup>3</sup> Centre des politiques en propriété intellectuelle, Université McGill, Canada.

### Étapes méthodologiques du processus de modélisation :

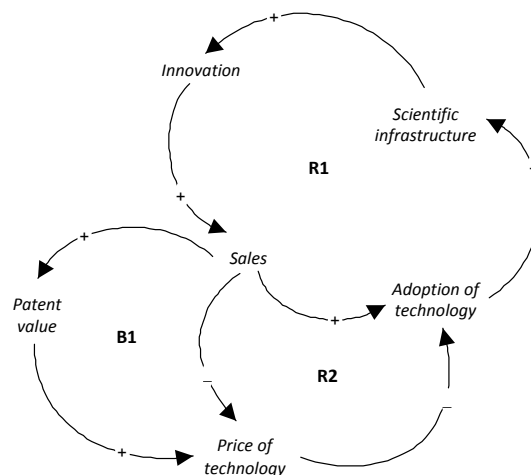
Le processus de modélisation a suivi les cinq étapes définies par Sterman (2000).

#### - Étape 1 : articulation du problème

Le problème et les objectifs du modèle ont d'abord été définis. Une entrevue préparatoire, avec quelques membres du TIP, a été planifiée. Cette entrevue a notamment permis l'identification des sous-systèmes constituant le système global de la propriété intellectuelle des innovations biotechnologiques. Ceux-ci fournissent une manière d'étudier le système, de mieux cerner les nuances qu'il revêt et d'obtenir une image plus complète de ses enjeux et composantes. En définitive, le modèle s'est articulé autour de huit sous-systèmes. Pour n'en citer que quelques uns, trois d'entre eux ont concerné la gestion de l'innovation, la gestion des connaissances et l'efficacité économique.

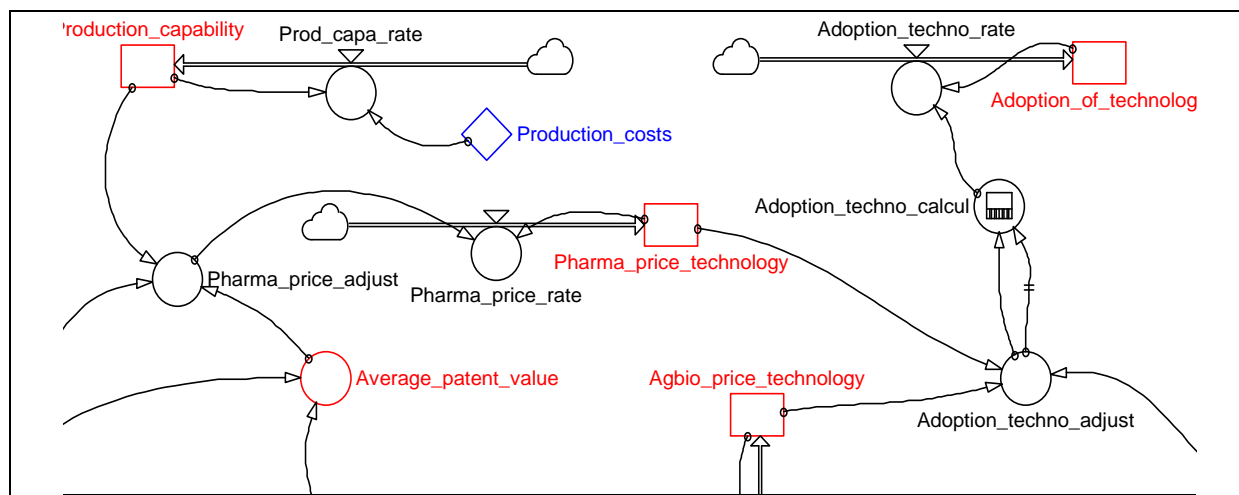
#### - Étape 2 : hypothèses dynamiques

Un diagramme d'influence a été élaboré selon les principes de la modélisation en groupe. Étant donné que les membres du TIP n'étaient pas familiers avec cette technique, un diagramme préliminaire a été préalablement élaboré par le modélisateur, afin de faciliter l'élaboration de ce modèle qualitatif. Par la suite, les sessions de modélisation qualitative en groupe se sont déroulées en trois phases : (1) l'élaboration d'un diagramme d'influence pour chacun des sous-systèmes identifiés ; (2) l'intégration des sous-systèmes en un unique diagramme ; (3) la validation du diagramme et les ajustements requis. Le diagramme d'influence inclut 117 variables, 361 liens de causalité et plus de 6000 boucles de rétroaction dont une majorité de boucles de renforcement. Un extrait de ce diagramme est donné en exemple ci-dessous, lequel illustre les dynamiques de l'accès aux technologies brevetées et implique trois boucles de rétroaction en interaction (deux boucles de renforcement R1 et R2, et une boucle d'équilibrage B1) :



#### - Étape 3 : formulation du modèle de simulation

La formulation du modèle de simulation s'est appuyée sur une collecte de données préalablement réalisée par le TIP. Cette collecte a concerné les variables identifiées dans le diagramme d'influence, qu'elles soient quantitatives, mais également et principalement qualitatives. Elle a porté sur dix-sept pays de cinq régions différentes et a couvert des données historiques sur une dizaine d'années. Par la suite, cette troisième étape a nécessité la traduction du système en termes de variables de niveaux et de taux (à partir du diagramme d'influence et à l'aide du logiciel PowerSim), la définition des règles de décision entre les variables (la formulation des équations mathématiques s'étant appuyée sur la technique des modèles mixtes via le logiciel SPSS) et la quantification des paramètres du modèle en vue de sa calibration. Étant donné la complexité de ces tâches, celles-ci n'ont pas directement impliqué les membres du TIP. Le modèle de simulation inclut au total 87 variables (toutes les variables du diagramme d'influence n'ayant pu être quantifiées). Un extrait du modèle est donné en guise d'exemple ci-après :

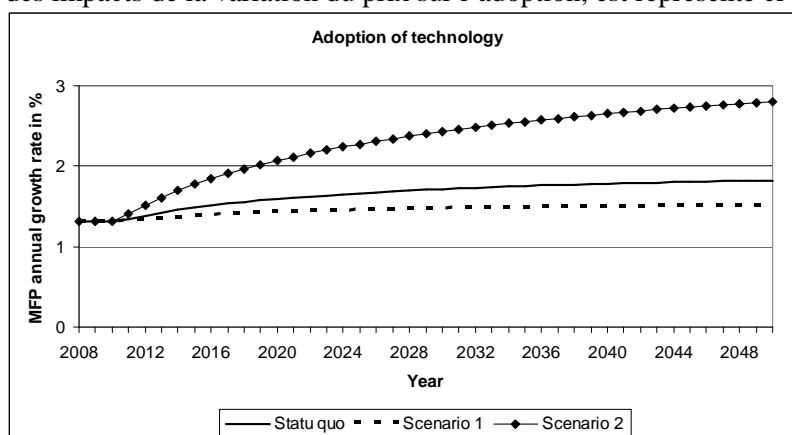


#### - Étape 4 : test du modèle

Six tests d'évaluation ont été réalisés : (1) la justesse des frontières du modèle ; (2) l'évaluation de sa structure ; (3) l'évaluation des paramètres ; (4) la reproduction du comportement ; (5) les conditions extrêmes ; (6) les erreurs d'intégration. Les trois premiers tests se sont principalement basés sur l'avis des membres du TIP et d'autres acteurs du système. Les trois autres sont plus particulièrement imputables aux activités individuelles du modélisateur. À noter que le test de reproduction du comportement est celui qui a permis de s'assurer que le comportement simulé à partir du modèle traduise le comportement observé du système réel : pour chacun des pays, les résultats générés par le modèle sur les dix années passées ont été comparés aux données réelles historiques collectées.

#### - Étape 5 : formulation des stratégies et évaluation

La dernière étape a consisté d'une part à développer des scénarios, c'est-à-dire à formuler de nouvelles politiques potentielles, et d'autre part, à analyser les résultats générés par le modèle pour chacun des scénarios, autrement dit, à analyser les répercussions dans le temps des différentes alternatives décisionnelles simulées. Cette étape a permis de mettre à l'épreuve différents scénarios décisionnels, à l'aide d'une simple interface Excel. Par exemple, une des problématiques d'intérêt du TIP a porté sur l'accès aux technologies brevetées, dont l'adoption des innovations biotechnologiques. Le prix de la technologie influençant leur adoption, des jeux de simulation ont – entre autres – été effectués sur cette variable, afin de l'augmenter (scénario 1) puis de la diminuer (scénario 2). Un exemple de résultats simulés des impacts de la variation du prix sur l'adoption, est représenté ci-dessous :



En définitive, le but ultime d'un projet de modélisation par la dynamique des systèmes – qu'il soit réalisé en groupe ou non – est de fournir un système d'aide à la décision aux acteurs qui agissent dans un système complexe à caractère dynamique, en vue d'une part de favoriser une meilleure compréhension des dynamiques comportementales du système et d'autre part, de

permettre l'anticipation des conséquences des actions qui y seront potentiellement menées. À noter toutefois que de tels modèles doivent être utilisés pour améliorer le jugement et l'intuition, et non comme substitut aux processus de décisions critiques (Stermann, 1988). Par ailleurs, bien que recommandés et de plus en plus appliqués au sein des organisations, les projets de modélisation en groupe par la dynamique des systèmes représentent des défis d'ordre méthodologique : les démarches de modélisation en groupe sont assimilées plus à un art qu'à une science et la plupart de ces projets souffrent d'un problème d'improvisation (Andersen et *al.*, 1997).

### **3. VERS UNE UTILISATION PLUS SYSTÉMATIQUE DE LA SIMULATION**

Cette dernière section ouvre la voie à une utilisation plus systématique de la simulation en sciences de gestion. Deux axes de réflexion sont discutés, en vue non seulement de susciter l'intérêt pour cette méthode sous-exploitée, mais également de développer son potentiel.

#### **3.1. METTRE EN VALEUR LE CARACTÈRE INTERDISCIPLINAIRE DE LA SIMULATION**

La nécessité d'éléments interdisciplinaires pour une meilleure compréhension d'un système complexe constitue une problématique d'actualité qui modifie les structures traditionnelles et strictement disciplinaires de création de connaissance. Ce constat s'exprime notamment à travers des projets de large échelle qui articulent une palette de chercheurs d'horizons différents pour fournir une compréhension globale de systèmes complexes très divers, tant environnementaux que sociétaux. C'est le cas par exemple du projet en création *Living Earth Simulator* (Simulateur de la Vie sur Terre) qui propose une coopération entre différents chercheurs internationaux pour reproduire l'ensemble des événements qui se déroulent sur la Terre, en passant des conditions météorologiques aux épidémiologies humaines ou encore du système de transactions financières internationales à la compréhension des bouchons de circulation sur les périphéries urbaines. Ce projet colossal, dans l'attente d'un accord de financement par la Commission Européenne, a déjà mis à disposition de ses chercheurs des super-ordinateurs capables de générer des simulations complexes grâce à des techniques de calcul sophistiquées et des processeurs extrêmement rapides. Pour autant, l'espoir du *Living Earth Simulator* repose essentiellement sur un véritable effort de coordination et de partage de connaissances entre chercheurs des sciences techniques et ceux des sciences sociales, qui tend à devenir une norme à l'avenir. En effet, même dans le cas d'une volonté de modélisation spécifique, cet effort d'interdisciplinarité apparaît de plus en plus comme une condition essentielle à la meilleure compréhension de systèmes complexes.

Au sein des sciences de gestion, la question de l'interdisciplinarité peut s'évaluer à deux niveaux, tous deux nécessitant un effort du même ordre. Le premier niveau serait d'envisager des collaborations entre sciences de gestion et autres sciences sociales et techniques, dans le même esprit que le projet de simulateur qui vient d'être évoqué. Si les connaissances spécifiques du chercheur en gestion sont centrales à la compréhension d'une problématique organisationnelle complexe, l'apport potentiel de chercheurs en sciences sociales (sociologues, psychologues expérimentaux voire économistes) viendrait éclairer les dynamiques sociales en les reliant à des dynamiques similaires à des échelles d'analyse différentes, selon la discipline. L'apport de chercheurs en sciences « dures » (ingénieurs, informaticiens voire mathématiciens appliqués) pourrait alors améliorer les modèles de simulation organisationnelle en proposant des techniques plus sophistiquées et des supports computationnels plus performants. Le deuxième niveau à développer dans ce contexte se situe à l'intérieur même de la discipline des sciences de la gestion. Si certains des travaux de recherche dans la discipline font un effort certain de multidisciplinarité, ils manquent encore fortement d'interdisciplinarité. Cette remarque est d'ailleurs corroborée par l'étude empirique menée par Agarwal et Hoetker (2007), qui reconnaissent la coexistence entre plusieurs sous-disciplines tout en notant un manque de dialogue prononcé entre elles. Dans la même veine, une étude menée sur le devenir des établissements de gestion par Durand et Dameron (2005, p. 7), révèle que « *la définition fonctionnelle des domaines de la gestion est remise en cause par les besoins grandissants de transdisciplinarité dans les entreprises* ».

En considérant l'organisation comme un système complexe, le recours à la simulation impose ce besoin d'interdisciplinarité. C'est notamment dans cette perspective que les projets de modélisation en groupe, qui impliquent des individus provenant de diverses disciplines, suscitent un intérêt croissant. La simulation introduit donc un véritable challenge pour l'avenir dans la discipline des sciences de gestion et dans le développement des approches de modélisation et de simulation systémiques.

### **3.2. COMBINER LES UTILISATIONS DE LA SIMULATION**

Dans cet article, sont distinguées deux grandes catégories d'utilisation de la simulation : la simulation comme outil de développement de la théorie du chercheur et la simulation comme outil d'aide à la décision de l'acteur. Or, et comme évoqué plus tôt, bien que généralement dirigée vers un objectif spécifique, une « même » simulation peut être utilisée à des fins multiples (Harrison et *al.*, 2007). Dans la littérature, le cloisonnement entre les deux est pourtant plus qu'apparent : la plupart des travaux antérieurs qui s'intéressent à la simulation,

l'abordent soit à des fins de recherche pour l'observateur, soit à des fins décisionnelles pour l'acteur. La question de l'utilisation combinée de la simulation comme outil du chercheur et de l'acteur se pose donc. En effet, étant donné que la discipline des sciences de gestion peut être associée à la fois à une science de l'organisation et de l'action (David, 2002), les objectifs poursuivis par chacune de ces deux utilisations devraient être en eux-mêmes complémentaires voire très certainement liés, et non mutuellement exclusifs.

D'un côté, les théories développées par le chercheur qui a recours à la simulation peuvent être, dans une certaine mesure, exploitées par l'acteur. Tout d'abord, les résultats *a priori* scientifiques, tels que générés par un modèle de simulation et plus généralement par un travail de recherche, fournissent en eux-mêmes un support au changement dans les organisations, dès lors qu'ils dégagent des préconisations managériales. En outre, par le biais d'une simple interface, tout modèle de simulation peut devenir un outil directement utilisable par des praticiens. En d'autres termes, les scénarios artificiels simulés à des fins de recherche pourraient ultimement s'apparenter à des scénarios décisionnels. Par exemple, cette double-application pourrait être envisageable au sein de la recherche illustrée ci-avant, qui porte sur l'adoption d'une nouvelle technologie (cf. encadré 1) : les scénarios artificiels simulés quant au nombre de super-utilisateurs désignés par une équipe projet permettent, implicitement, d'anticiper les résultats des décisions qui pourraient potentiellement être prises par un chef de projet (Melao et Pidd, 2003). Évidemment, l'utilité du modèle dans ce contexte est intimement liée au niveau d'implication de l'acteur lors de son élaboration.

D'un autre côté, grâce à la modélisation effectuée pour, et souvent avec, les acteurs de terrain, le chercheur génère des connaissances scientifiques qui peuvent donner lieu à une généralisation analytique au sens de Yin (1994, p. 30), laquelle consiste à « *généraliser les résultats d'une étude pour créer une théorie* ». Dans le cadre des études fondées sur la simulation, la possibilité de généraliser augmenterait avec la complexité du modèle lui-même, en termes notamment du nombre de variables le constituant (Meredith, 1998). Or, la plupart des modèles visant à supporter les décisions stratégiques tendent effectivement à impliquer un nombre relativement élevé de variables. Néanmoins, l'enjeu pour le chercheur consiste à ne pas complexifier pour autant la théorie qu'il développe (Meredith, 1998). Pour cette raison, il est vrai que les modèles de simulation destinés à développer une compréhension théorique se limitent, en général, à quelques construits. Par conséquent, une différence se fait ressentir quant au degré de complexité des modèles créés, selon l'une ou l'autre des utilisations qui en sera faite. Les deux illustrations présentées précédemment (cf. les encadrés 1 et 2) en sont un

bon exemple : l'outil pour le chercheur n'inclut que 3 variables dans la première, alors que l'outil d'aide à la décision en intègre 87 dans la seconde.

Si la production de connaissances issues d'un modèle de simulation devrait fondamentalement permettre, à la fois d'alimenter le corpus théorique en sciences de gestion et de guider ultimement les actions menées au sein des organisations, les possibilités de rapprochement entre les deux perspectives d'un point de vue méthodologique sont intéressantes. Au-delà du degré de complexité du modèle créé et des spécificités propres à la technique de simulation utilisée, ces démarches apparaissent être similaires en principe. D'une manière générale, quels que soient le nombre et l'intitulé des étapes suivies par les chercheurs, celles-ci incluent des tâches relatives à la formulation du problème et des hypothèses dynamiques, au développement du modèle de simulation sur ordinateur, au test du modèle et à la simulation de scénarios. Par ailleurs, l'importance des « aller-retour » entre la perspective du chercheur et celle de l'acteur s'apprécie dans les deux utilisations de la simulation : le chercheur s'attache à ne pas développer un modèle *in vacuum* et doit ainsi impliquer, autant que possible, les acteurs intervenant dans le système complexe étudié. Par exemple, dans la première illustration de la simulation proposée dans cet article (cf. encadré 1), les acteurs sont impliqués lors de la formalisation de la problématique organisationnelle, de l'élaboration des faits stylisés, du paramétrage et de l'étape de confrontation des résultats du modèle à la réalité organisationnelle. Le degré d'implication des acteurs peut certes varier selon les démarches, et certaines tendent à le maximiser pour aboutir à une véritable co-modélisation. À noter toutefois que, dans le cadre des simulations par la dynamique des systèmes, les démarches de co-construction de modèles avec un groupe de participants sont davantage présentes dans les travaux qui se centrent sur la prise de décision (cf. par exemple le projet de modélisation en groupe illustré dans l'encadré 2), que dans ceux dont la finalité est le développement d'une théorie. Pourtant, les uns comme les autres auraient avantage à recourir plus systématiquement à une modélisation en groupe, étant donné que la participation directe de différents intervenants (acteurs du système, clients pour lesquels le modèle est développé, chercheurs spécialistes) permet non seulement d'accroître l'utilité du modèle (Vennix, 1996), mais aussi d'atteindre une certaine interdisciplinarité.

En définitive, qu'il s'agisse d'un outil pour le chercheur ou pour l'acteur, les données artificielles créées par la simulation permettent de dépasser les limites générées par la simple observation de l'existant pour appréhender le système complexe étudié. L'intention de rapprochement entre un modèle et une certaine réalité complexe traduit la volonté d'aider les acteurs à s'extraire, grâce à l'abstraction, d'une situation de gestion complexe et difficile à

évaluer dans les routines quotidiennes de l'action. En ce sens, la simulation revêt en elle-même deux niveaux, qui servent une meilleure compréhension de l'observation puis de l'action. Dans ce contexte, l'intérêt de la simulation soulève ainsi un enjeu plus général qui est central en sciences de gestion : le passage de l'observation à l'action.

## CONCLUSION

La portée illustrative des deux modèles de simulation présentés dans cet article s'est inscrite dans la volonté de faire apparaître l'utilité de la simulation en gestion, mais aussi la complémentarité des modèles utilisés par le chercheur et ceux créés pour l'acteur. L'intérêt de cette contribution réside également dans des éléments de réflexion, plus généraux, qui introduisent la simulation comme une méthode qui encourage d'une part l'interdisciplinarité, et qui transcende d'autre part le clivage entre les approches quantitatives et qualitatives, longtemps associé à la discipline.

Dans la pratique, la diffusion des méthodes de simulation dans les travaux de recherche en gestion pose également la question des besoins en formation des futurs chercheurs. Les enseignements de cet outil restent, en effet, très limités au sein des programmes universitaires en France et soulèvent un véritable *challenge* pour le développement de cette technique.

Enfin, un effort de réflexion sur le dépassement des limites associées à cette méthode semble nécessaire. Cet effort peut d'ores et déjà se traduire par une plus grande participation des acteurs dans le processus de modélisation (Vennix, 1996), ainsi que par la quantité et la diversité des tests (qualitatifs et quantitatifs) des modèles de simulation dont peut user le chercheur (Martis, 2006).

## RÉFÉRENCES

- Agarwal, R. et G. Hoetker (2006), A faustian bargain: The growth of management and its relationship with other related disciplines, *Academy of Management Journal*, 50(6): 1304-1322.
- Akkermans, H. (2001), Renga: a systems approach to facilitating inter-organizational network development, *System Dynamics Review*, 17 (3): 40-57.
- Akkermans, H.A. et J.A.M. Vennix (1997), Clients' opinion on group model-building: an exploratory study, *System Dynamics Review*, 13 (1): 3-31.
- Andersen, D.F., G.P. Richardson et J.A.M. Vennix (1997), Group model building: adding more science to the craft, *System Dynamics Review*, 13 (2): 187-201.
- Anderson, P. (1999), Complexity theory and organization science, *Organization Science*, 10 (3): 216-232.
- Argyris, C., R. Putnam et D. MacClain Smith (1985), *Action Science: Concepts, Methods and Skills for Research and Intervention*, San Francisco: Jossey-Bass.



- Berends, P. et G. Romme (1999), Simulation as a research tool in management studies, *European Management Journal*, 17 (6): 576-583.
- Carley, K.M. (1996), Validating Computational Models, Document de travail: *Social and Decision Sciences*, Carnegie Mellon University, Pittsburg, PA.
- Carley, K.M. (2001), Computational approaches to sociological theorizing. In J. Turner (Ed.), *Handbook of sociological theory*: 69–84. New York: Kluwer Academic/Plenum.
- Cartier, M. (2003), *La dynamique de l'adaptation d'industries : Simulation par algorithme génétique*, Thèse de Doctorat en Sciences de Gestion, Université Paris-Dauphine.
- Cartier, M. (2005), *La dynamique de l'adaptation d'industries*, Paris : Vuibert, Collection FNEGE.
- Cartier, M. et B. Forgues (2006), Intérêt de la simulation pour les sciences de gestion, *Revue Française de Gestion*, 6 (165): 125-137.
- Checkland, P. (1981), *Systems thinking, systems practice*, Chichester: John Wiley & Sons.
- Chiva-Gomez, R. (2004), Repercussions of complex adaptive systems on product design management, *Technovation*, 24: 707-711.
- Chu, D., R. Strand et R. Fjelland (2003), Theories of complexity: common denominators of complex systems, *Wiley Periodicals*, 8 (3): 19-30.
- David, A. (2002), Connaissance et Sciences de Gestion, in T. Gaudin & A. Hatchuel (dir.) *Les Nouvelles Raisons du Savoir*, La Tour d'Aigues : Ed. de l'Aube, coll. "essais", 251-279.
- Davis, J.P., K.M. Eisenhardt et C.B. Bingham (2007), Developing theory through simulation methods, *Academy of Management Review*, 32 (2): 480-499.
- Dooley, K.J. (2002), Simulation Research Methods, in Baum (ed.), *Companion to Organizations*: 829-848.
- Dooley, K.J. et A.H. Van de Ven (1999), Explaining complex organizational dynamics, *Organization Science*, 10 (3): 358-372.
- Durand, T. et S. Dameron (2005), *Prospective 2015 des Etablissements de Gestion: Cinq Scénarios pour Agir*, Etude réalisée pour la Fondation Nationale pour l'Enseignement de la Gestion des Entreprises, Février.
- Durieux F. et I. Vandangeon-Derumez (1996), La dynamique des changements stratégiques, *Actes de la Vème Conférence Internationale de l'AIMS*, Lille.
- Epstein, J.M., (2008), Why Model?, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11 (4): 1-5.
- Forrester, J.W. (1975), *Collected Papers of Jay W. Forrester*, Portland: Productivity Press.
- Friedman, S. (2004), Learning to make more effective decisions: changing beliefs as a prelude to action, *The Learning Organization*, 11 (2-3): 110-128.
- Grobman, G.M. (2005). Complexity theory: a new way to look at organizational change. *Public Administration Quarterly*, 29 (3): 350-382.
- Größler, A. (2004), A content and process view on bounded rationality in system dynamics, *Systems Research and Behavioral Science*, 21: 319-330.
- Harrison, J.R., Z. Lin, G.R. Carroll et K.M. Carley (2007), Simulation modelling in organizational and management research, *Academy of Management Review*, 32 (4): 1229-1245.
- Jacobsen, C., House, R.J., (2001), Dynamics of charismatic leadership: a process theory, simulation model, and tests, *The Leadership Quarterly*, 12(1): 75-112.
- Kaldor, N. (1978), *Further essays on Economic Theory*, Londres, Duckworth.
- Kast, F.E. et J.E. Rosenzweig (1972), General systems theory: applications for organization and management, *Academy of Management Journal*, 15 (4): 447-465.

- Katz, D. et R.L. Kahn (1978), *The Social Psychology of Organizations*, New York: J. Wiley.
- Koenig, G. (2006), « Théories mode d'emploi », *Revue Française de Gestion*, Numéro spécial « Théories mode d'emploi », 160(1) : 9-27.
- Kumar, R. et K.O. Nti (2004), National cultural values and the evolution of process and outcome discrepancies in international strategic alliances, *The Journal of Applied Behavioral Science*, 40 (3): 344-361.
- Le Moigne, J.L. (1974), *Les systèmes de décision dans les organisations*, Paris : Presses Universitaires de France.
- Le Moigne, J-L. (2007), *Les Épistémologies Constructivistes*, Paris : Que sais-je ? Puf, 3ème édition.
- Liarte, S. (2008), Observer, comprendre et expérimenter: L'étude des organisations à travers la simulation informatique, *Gestion 2000*, (2) : 57-77.
- Luna-Reyes, L.F. et D.L. Andersen (2003), Collecting and analysing qualitative data for system dynamics: methods and models, *System Dynamics Review*, 19 (4): 271-296.
- Lyons, M.H., I. Adjali, D. Collings et K.O. Jensen (2003), Complex systems models for strategic decision making, *BT Technology Journal*, 21 (2): 11-27.
- Maguire, S., B. McKelvey, L. Mirabeau et N. Oztas (2006), Complexity science and organization studies, in S.R. Clegg, C. Hardy, T.B. Lawrence & W.R. Nord (Eds.), *The Sage Handbook of Organization Studies*,. Thousand Oaks, CA: Sage, 165-214.
- Martis, M.S. (2006), Validation of simulation based models: a theoretical outlook, *Electronic Journal of Business Research Methods*, 4 (1): 39-46.
- McDaniel, R.R. et D.J. Driebe (2001), Complexity science and health care management. *Advances in Health Care Management*, 2: 11-36.
- McKelvey, B. (2002), Model-Centered Organization Science Epistemology, in Baum, (ed.), *Companion to Organizations*: 752-780.
- Meadows D.H. et J. Robinson (1985), *The electronic oracle: computer models and social decisions*, John Wiley and Sons, Chichester.
- Melao, N. et M. Pidd (2003), Use of Business Process Simulation: A Survey of Practitioners, *The Journal of the Operational Research Society*, 54(1) : 2-10.
- Meredith, J. (1998), Building Operations Management Theory Through Case and Field Research, *Journal of Operations Management*, 16 (4): 441-454
- Milling, P. (2002), Understanding and managing innovation processes, *System Dynamics Review*, 18: 73-86.
- Morin, E. (1985), *La Méthode, La Vie de la Vie, Tome 2*, Paris : Seuil, Points Essai.
- Nilsson, F. et V. Darley (2006), On complex adaptive systems and agent-based modelling for improving decision-making in manufacturing and logistics settings, *International Journal of Operations and Production Management*, 26 (12): 1351-1373.
- Rahmandad, H. et J. Sterman, (2008), Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Diffusion: Comparing Agent-Based and Differential Equation Models, *Management Science*, 54(5) : 998-1014.
- Repenning, N. (2000), A dynamic model of resource allocation in multi-project research and development systems, *System Dynamics Review*, 16 (3): 173-212.
- Repenning, N. (2002), A Simulation-Based Approach to Understanding the Dynamics of Innovation Implementation, *Organization Science*, 13(2): 109-127.
- Rouwette, E.A.J.A, A. Gröfsler et J.A.M. Vennix (2004), Exploring influencing factors on rationality: a literature review of dynamic decision-making studies in system dynamics, *Systems Research and Behavioral Science*, 21 (4): 351-370.

- Rouwette, E.A.J.A, J.A.M. Vennix et C.M. Thijssen (2000), Group model building: a decision room approach, *Simulation and Gaming*, 31 (3): 359-379.
- Rudolph, J.W. et N.P. Repenning (2002), Disaster dynamics: understanding the role of quantity in organizational collapse, *Administrative Science Quarterly*, 47 (1): 1-30.
- Schneiderman, A. (1988), Setting quality goals, *Quality Progress*, April : 55-57.
- Shapiro, A. (2004), *Creating Contagious Commitment – Applying the Tipping Point to Organizational Change*, Strategy Perspective, Hillsborough, North Carolina.
- Simon, H.A. (1976), How complex are complex systems? *Philosophy of Science Association*, 2: 507-522.
- Simon, H.A. (1978), Rational decision-making in business organizations, *Nobel Memorial Lecture*, 8<sup>th</sup> December: 343-371.
- Simon, H.A. (1991), Organizations and markets, *Journal of Economic Perspectives*, 5 (2): 25-44.
- Sterman, J.D. (1988), A skeptic's guide to computer models, in G.O. Barney et al. (Ed.), *Managing a Nation: the Microcomputer Software Catalog*, Westview Press, 209-229.
- Sterman, J.D. (2000), *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Irwin-McGraw-Hill.
- Tekin, E. et I. Sabuncuoglu (2004), Simulation optimization: a comprehensive review on theory and applications, *IIE Transactions*, 36: 1067-1081.
- Thiéart, R.A. et B. Forgues (1995), Chaos theory and organization, *Organization Science*, 6 (1): 19-31.
- Vas, A. (2005), La vitesse de propagation du changement au sein des grandes organisations, *Revue Française de Gestion*, 2 (155) : 135-151.
- Vennix, J.A.M. (1996), *Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics*, Chichester, England: John Wiley & Sons.
- von Bertalanffy, L. (1968), *General System Theory*. New York: George Braziller.
- Yin, R.K. (1994), *Case Study Research: Design and Methods*, 2<sup>nd</sup> edition, Newbury Park, CA: Sage Publications.